

KARAKTERISTIK FLUKS MEMBRAN DALAM PROSES FILTRASI LIMBAH CAIR INDUSTRI PELAPISAN LOGAM

F. Zulfi¹, K. Dahlan², P. Sugita³

¹Pusat Penelitian Limnologi LIPI, Cibinong Bogor 16911

²Departemen Fisika FMIPA IPB, Dramaga Bogor

³Departemen Kimia FMIPA IPB, Dramaga Bogor

Email: fifia.zulfi@limnologi.lipi.go.id

ABSTRACT

Environmental pollution that caused by electroplating wastewater can be solved by membrane technology. Chitosan and silica have been used widely in the wastewater treatment process and also easily formed into membranes. The purpose of this study is to analyze characteristics of membrane flux, which is one indicator of the quality of the performance of the membrane. The membranes used in the filtration process is made of chitosan and silica rice husk (biosilika) with inverse phase technique. Variations in the mass ratio of chitosan and biosilika are 1, 1.5, 2, and 3 for membrane A, B, C, and D respectively. The results of flux showed that the membrane flux decreased exponentially with increasing time. Flux characteristics of membrane B is better than others because the average flux and porosity in the electroplating wastewater filtration is higher than the others, namely 19115.62 L/m²hours and 87.79 % respectively. The mechanism of membrane fouling on chitosan - biosilika has caused by blocking of a number of membrane pores is described by curves fitting of flux decline to the experimental data.

Keywords: wastewater, membrane, flux, fouling.

ABSTRAK

Pencemaran lingkungan oleh limbah industri pelapisan logam dapat diatasi dengan teknologi membran. Kitosan dan silika adalah material yang sudah banyak digunakan dalam proses pengolahan limbah dan juga mudah dibentuk menjadi membran. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa karakteristik fluks membran, yang merupakan salah satu indikator kualitas kinerja membran. Membran yang digunakan dalam proses filtrasi dibuat dari kitosan dan silika sekam padi (biosilika) dengan teknik inversa fasa. Variasi rasio massa kitosan dan biosilika adalah 1, 1,5, 2 dan 3 untuk membran A, B, C, dan D. Hasil perhitungan fluks pada masing-masing membran menunjukkan bahwa terjadi penurunan fluks membran secara eksponensial seiring bertambahnya waktu. Membran B mempunyai karakteristik fluks yang lebih baik dibandingkan dengan

yang lainnya karena fluks rata-rata pada filtrasi limbah elektroplating paling besar dibandingkan yang lainnya yaitu 19115,62 L/m²/jam dengan nilai porositas paling tinggi yaitu 87,79 %. Mekanisme fouling pada membran kitosan-biosilika disebabkan karena terjadinya penutupan sejumlah pori membran yang dijelaskan melalui pendekatan kurva penurunan fluks dengan data eksperimen.

Kata kunci : limbah, membran, fluks, fouling.

PENDAHULUAN

Industri pelapisan logam (elektroplating) adalah salah satu penyumbang limbah berbahaya bagi lingkungan karena limbah cair industri tersebut mengandung bahan kimia yang berbahaya seperti seng, nikel, kromium dan besi . Kromium adalah salah satu limbah logam yang dihasilkan dalam jumlah yang cukup besar dari hasil proses pelapisan logam.

Kromium yang ditemukan di perairan adalah kromium trivalent (Cr^{3+}) dan kromium heksavalen (Cr^{6+}). Namun, pada perairan yang memiliki pH lebih dari 5, kromium trivalen tidak ditemukan. Apabila masuk ke perairan, kromium trivalent akan dioksidasi menjadi kromium heksavalen yang lebih toksik. Kromium trivalen biasanya terserap ke dalam partikulat, sedangkan kromium heksavalen tetap berada dalam bentuk larutan. Kromium trivalen merupakan unsur yang esensial bagi tumbuhan dan hewan, sedangkan kromium heksavalen bersifat toksik. Keracunan kromium dapat mengganggu fungsi hati, ginjal, pernafasan, dan mengakibatkan terjadinya kerusakan kulit. Fitoplankton lebih sensitif terhadap kromium daripada ikan. Kadar kromium sebesar 20 µg/liter dapat menghambat pertumbuhan *Chlorella pyrenoidosa* dan *Clamydomonas reinhardtii*. Kromium heksavalen ada dalam larutan cair sebagai $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, HCrO_4^- , CrO_4^{2-} dan HCr_2O_7 . Fraksi jenis partikel tergantung pada konsentrasi kromium dan pH.

Pada umumnya, limbah akhir dari proses produksi akan dibuang ke perairan setelah melewati proses pengolahan, namun masih ada beberapa industri yang belum memenuhi standar limbah buangan yang telah ditentukan sehingga menyebabkan pencemaran pada perairan terutama sungai. Permasalahan pencemaran tersebut harus diatasi dengan cara menyediakan sistem pengolahan limbah yang efektif dan efisien. Salah satu teknologi pengolahan limbah cair yang banyak digunakan pada saat ini adalah teknologi membran.. Saat ini penggunaan membran pada skala besar telah dimanfaatkan untuk memproduksi air yang dapat diminum dari air laut atau proses desalinasi dengan proses osmosa balik, *recovery* suatu konstituen dengan proses elektrodialisis, fraksinasi makromolekul pada industri makanan dan minuman dengan proses ultrafiltrasi dan menghilangkan toksin dan racun lainnya dari darah manusia dengan proses dialisis pada ginjal buatan.

Membran merupakan suatu lapisan tipis semipermeabel diantara dua fasa yang berbeda karakter Fasa pertama adalah *feed*

atau larutan pengumpan dan fasa kedua adalah *permeate* atau hasil pemisahan. Sifat yang paling penting dari membran adalah kemampuan membran untuk mengontrol laju perembesan partikel melewati membran.. Pemilihan terhadap teknik ini dikarenakan berbagai sifat membran yang menguntungkan dan dapat dipergunakan luas untuk berbagai proses pemisahan.

Namun, ada masalah serius yang sering ditemui dalam proses filtrasi dengan membrane yaitu kecenderungan terjadinya penurunan fluks sepanjang waktu pengoperasian akibat pengendapan atau pelekatan material di permukaan membran, yang dikenal dengan istilah *fouling*. *Fouling* pada membran dapat didefinisikan sebagai deposisi (*ir*)*reversible* dari pada partikel, koloid, emulsi, suspensi, makromolekul, garam, dan sebagainya yang tertahan pada permukaan, atau didalam membran¹. Deposisi ini meliputi adsorpsi, penyumbatan pori, presipitasi (pengendapan) dan pembentukan *cake*. Deposisi partikel-partikel pada membran akan membentuk suatu lapisan baru yang harus dilalui oleh umpan sehingga fluks menjadi turun. Dari berbagai penyebab *fouling*, pembentukan *cake* pada permukaan merupakan faktor dominan dalam pembentukan *reversible fouling* yang pada akhirnya menjadi faktor dominan dalam penurunan fluks. Tujuan penelitian ini adalah menganalisa karakteristik fluks membran komposit (kitosan-biosilika) dalam proses filtrasi limbah dan karakteristik *fouling membrane*.

EKSPERIMENTAL

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah kitosan, silika sekam padi, asam asetat 2% dan NaOH 5 % untuk pembuatan membran dengan teknik inversa fasa. Membran dibuat dengan memvariasikan massa kitosan dan silika sekam padi (biosilika). Silika berfungsi sebagai pembentuk bahan permeabel pada membran. Rasio massa kitosan dan biosilika ($m_{\text{kitosan}}/m_{\text{biosilika}}$) yang digunakan adalah 1(A); 1,5 (B) ; 2 (C); dan 3 (D).

Proses penyaringan dilakukan pada dua buah jenis limbah yaitu limbah buatan dan limbah dari industri pelapisan logam. Limbah buatan dibuat dengan cara Limbah buatan dibuat dengan melarutkan larutan kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) dalam akuades dengan konsentrasi Cr(VI) sebesar 300 ppm, sedangkan limbah industri pelapisan logam mempunyai konsentrasi Cr(VI) sebesar 172 ppm.

Karakteristik fluks membran dihitung dengan menggunakan rumus berikut:²

$$J_i = \frac{V}{At}$$

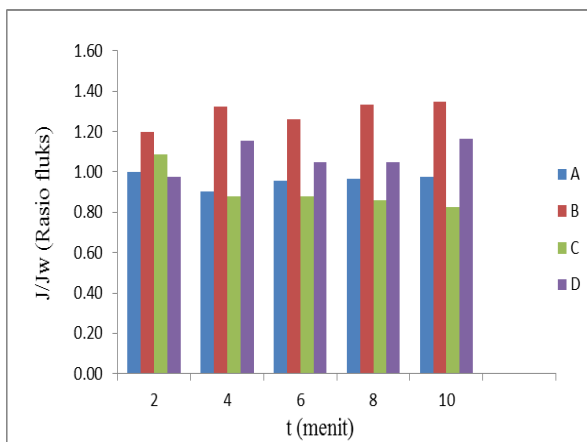
dimana V adalah volume permeat (L), A menunjukkan luas permukaan membran, (m^2), dan t adalah durasi pengukuran (jam).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fluks atau kecepatan permeat merupakan salah satu parameter yang menentukan kinerja membran. Nilai fluks menentukan jumlah permeat yang dapat dilewatkan oleh membran tiap satuan luas per satuan waktu. Variasi massa kitosan dan biosilika yang digunakan dalam pembuatan membran mempengaruhi karakteristik fluks membran dalam proses filtrasi.

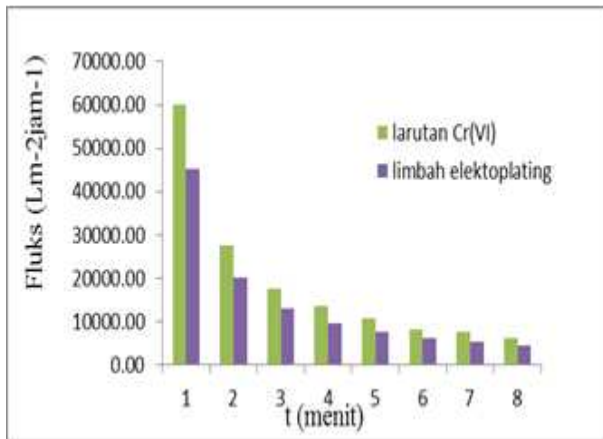
Pada Gambar 1 nilai fluks membran ditampilkan dalam bentuk nilai rasio J/J_w karena rentang ukuran pori antar fluks jauh yaitu $0,12 - 2,58 \mu\text{m}$. Nilai J/J_w menunjukkan fluks permeat limbah buatan pada waktu tertentu (J) dengan fluks akuades yang dilewatkan pada membran sebelum digunakan untuk menyaring limbah (J_w). Jumlah kitosan dan biosilika yang digunakan sangat mempengaruhi kinerja dari membran pada proses filtrasi, karena salah satu faktor yang menentukan besar kecilnya fluks adalah pori membran. Komposisi kitosan dan silika yang berbeda akan menghasilkan ukuran pori yang berbeda³.

Nilai rasio J/J_w pada keempat membran cenderung fluktuatif seiring dengan bertambahnya waktu karena masing-masing membran mempunyai nilai J dan J_w yang variatif sehingga faktor pembagi J/J_w tidak sama. Nilai rasio fluks yang variatif ini menunjukkan bahwa komposisi kitosan dan biosilika sangat mempengaruhi karakteristik membran. Membran B mempunyai rasio J/J_w paling tinggi sedangkan pada membran C nilai rasio fluksnya paling kecil, karena membran B mempunyai ukuran pori paling besar yaitu $2,58 \mu\text{m}$ dan membran C mempunyai ukuran pori paling kecil yaitu $0,12 \mu\text{m}$. Ukuran pori sangat mempengaruhi nilai fluks, semakin besar pori membran maka jumlah permeat yang dilewatkan dalam satu waktu tertentu semakin besar sehingga nilai fluksnya semakin tinggi dan begitu juga sebaliknya jika ukuran pori semakin kecil.



Gambar 1 Perbandingan nilai fluks membran limbah dan air pada keempat membran.

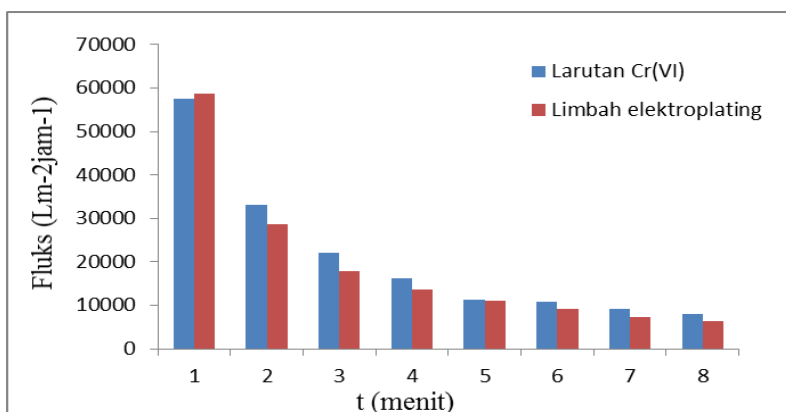
Gambar 2, 3, 4 dan 5 menunjukkan penurunan fluks membran dalam proses filtrasi limbah. Limbah yang digunakan ada 2 jenis yaitu limbah buatan (Larutan Cr VI) dan limbah elektroplating. Nilai fluks membran semakin menurun secara eksponensial seiring dengan bertambahnya waktu. Hasil ini sesuai dengan penelitian Nisa⁴ yang menyatakan bahwa fluks air pada membran kitosan menurun seiring bertambahnya waktu hingga tercapai nilai yang stabil pada keadaan tunak. Fenomena penurunan fluks membran ini biasa dikenal dengan istilah *fouling membrane*. Terjadinya *fouling* diawali dengan adanya polarisasi konsentrasi yaitu peningkatan konsentrasi lokal dari suatu zat terlarut pada permukaan membran, sehingga material terlarut berkumpul membentuk lapisan gel yang semakin lama semakin menebal⁵. Pada keadaan ini membran mulai mengalami penyumbatan sehingga jumlah permeat yang dilewatkan semakin sedikit.



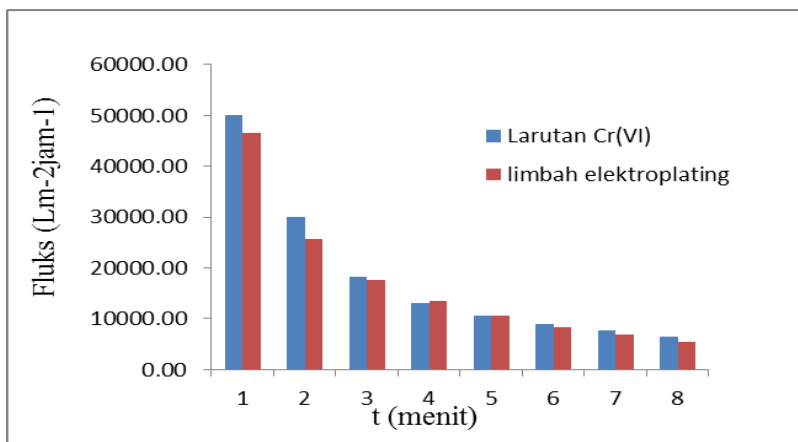
Gambar 2 Penurunan fluks pada membran A

Nilai fluks pada filtrasi limbah elektroplating (pelapisan logam) cenderung lebih rendah dari nilai fluks pada filtrasi limbah buatan karena pada saat filtrasi limbah elektroplating ada logam lain sehingga laju permeat menjadi lebih lambat dan penyumbatan pori membran juga berlangsung lebih cepat dari pada filtrasi limbah buatan. Pada Gambar 2 menunjukkan filtrasi dengan membran A menghasilkan rata-rata fluks larutan Cr(VI) adalah 18902,60 L/m²·jam sedangkan rata-rata fluks limbah elektroplating adalah 13934,83 L/m²·jam. Membran B (Gambar 3) menunjukkan nilai fluks rata-rata larutan Cr(VI) dan limbah elektroplating adalah 20997,98 L/m²·jam dan 19115,62 L/m²·jam.

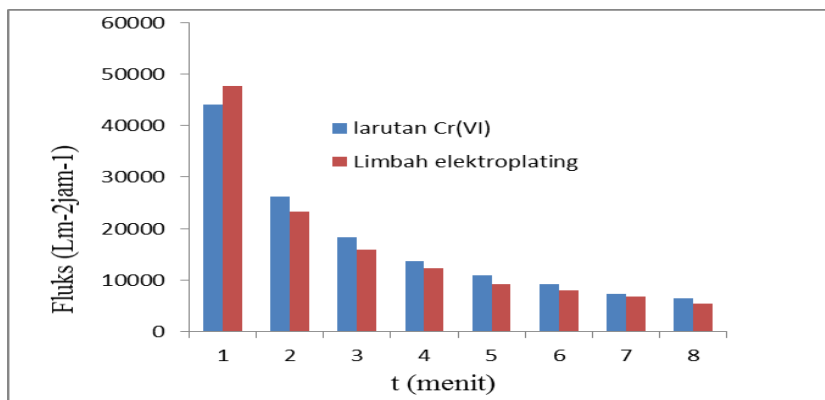
Nilai fluks rata-rata membran C (Gambar 4) pada larutan Cr (VI) adalah 18168,17 L/m²·jam dan 16772,28 L/m²·jam pada limbah elektroplating. Gambar 5 menunjukkan penurunan fluks pada membran D, nilai fluks rata-ratanya adalah 17045,45 L/m²·jam untuk larutan Cr(VI) dan 16097,09 L/m²·jam untuk limbah elektroplating.



Gambar 3 Penurunan fluks pada membran B



Gambar 4 Penurunan fluks pada membran C



Gambar 5 Penurunan fluks pada membran D

Banyak logam yang terkandung dalam limbah elektroplating diantaranya yaitu nikel, kromium, tembaga, kadmium, seng dan perak⁶ sehingga pada saat proses filtrasi semua logam tersebut berpotensi untuk menyumbat pori membran sehingga nilai fluks berkurang. Hal ini yang menyebabkan rata-rata fluks limbah elektroplating pada membran A, B, C dan D lebih rendah dari larutan Cr(VI), dimana pada saat filtrasi larutan Cr(VI) hanya logam Cr(VI) yang berpotensi untuk menyumbat pori membran.

Dari keempat membran yang telah diuji, membran B dengan rasio kitosan dan silika 1,5 mempunyai fluks rata-rata yang paling besar dibandingkan tiga membran lainnya karena membran B mempunyai ukuran pori dan porositas paling besar. Porositas membran menunjukkan jumlah daerah yang berpori pada membran. Semakin tinggi porositas suatu membran maka semakin banyak jumlah permukaan yang berpori pada membran tersebut sehingga jumlah permeat yang mampu dilewatkan dalam satu waktu juga semakin besar. Nilai porositas membran A, B, C dan D secara berurutan adalah 69,68 %; 87,79 %; 75,17% dan 87,63 %.

Penurunan fluks membran seiring bertambahnya waktu atau yang biasa dikenal dengan *fouling* yang terjadi karena adanya interaksi fisik atau kimia antara material membran dan komponen-komponen dalam proses. Penyumbatan pada pori membran merupakan salah satu penyebab *fouling* sehingga jumlah permeat yang dilewatkan membran berkurang seiring bertambahnya waktu operasi membran⁷. Penurunan fluks membran pada kasus tersebut dapat dimodelkan dengan persamaan berikut⁸:

$$J = J_0 \exp (-kt)$$

J menunjukkan fluks limbah, J_0 adalah fluks limbah awal, t adalah waktu dan k menunjukkan koefisien penyumbatan/ penutupan (*blocking*) pori membran.

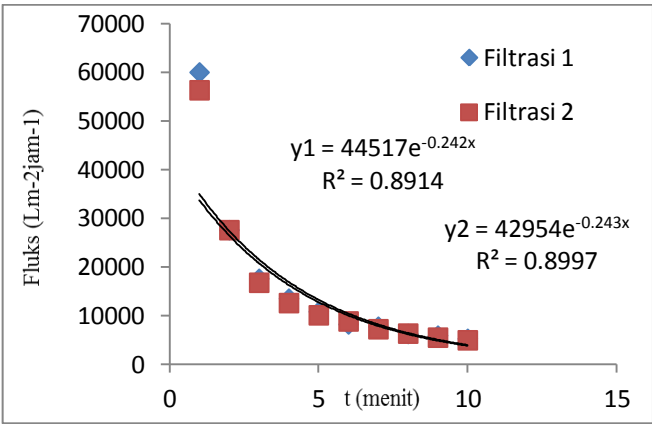
Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa model penurunan fluks membran mendekati nilai sesungguhnya karena nilai koefisien determinansi (R^2) mendekati 1 untuk semua membran yang diuji. Koefisien penutupan pori membran menunjukkan semakin cepat atau lambatnya terjadi penyumbatan pada pori membran yang menyebabkan terjadinya penurunan fluks secara eksponensial pada proses filtrasi. Jika koefisien penutupan pori membran besar artinya jumlah pori membran yang tertutup oleh partikel yang ada dalam larutan umpan (limbah) banyak sehingga nilai fluksnya turun dan begitu juga sebaliknya jika koefisien penutupan pori membran kecil. Pada membran A, B, C, dan D koefisien penutupan pori (k) limbah elektroplating lebih besar dari larutan Cr(VI), hal ini menguatkan pernyataan sebelumnya bahwa keberadaan logam lain dalam limbah elektroplating juga berperan dalam penyumbatan pori membran sehingga pori membran yang tertutup dalam satu waktu semakin banyak yang mengakibatkan porositas membran menurun. Turunnya porositas membran maka jumlah limbah yang mampu dilewatkan akan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya waktu.

Tabel 1 Karakteristik *fouling* membrane

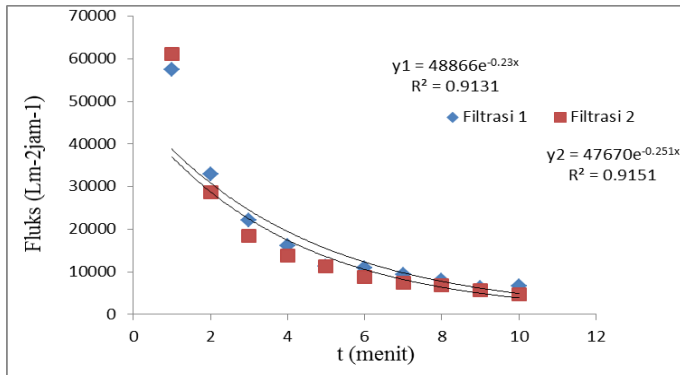
| Membran | Larutan Cr(VI) | | | Limbah elektroplating | | |
|---------|----------------|-------|--------|-----------------------|-------|--------|
| | Jo | K | R^2 | Jo | K | R^2 |
| | (L/m^2jam) | | | (L/m^2jam) | | |
| A | 53454 | 0,295 | 0,9122 | 39828 | 0,301 | 0,9082 |
| B | 56273 | 0,270 | 0,9259 | 54443 | 0,294 | 0,9269 |
| C | 50000 | 0,279 | 0,9330 | 48221 | 0,289 | 0,9654 |
| D | 45548 | 0,264 | 0,9602 | 44375 | 0,281 | 0,9301 |

Fenomena *fouling* pada membran mempengaruhi efisiensi dan efektivitas kinerja suatu membran. Jika terjadi pembentukan lapisan pada permukaan membran yang ditandai dengan terjadinya penyumbatan pori membran, maka porositas membran menurun sehingga jumlah umpan yang dapat difiltrasi akan berkurang dan waktu operasi membran semakin pendek.

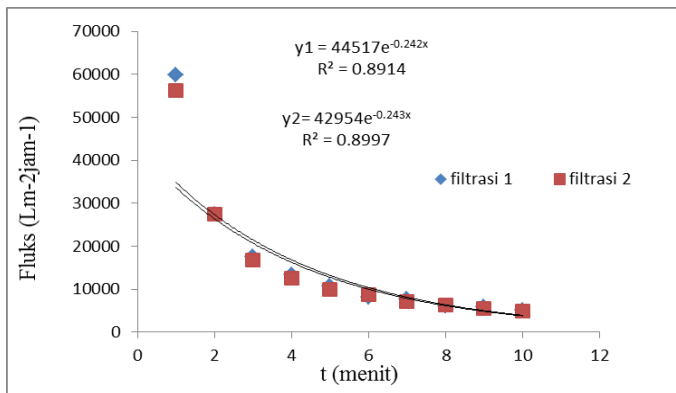
Pada Gambar 6, saat membran A digunakan untuk proses filtrasi larutan Cr(VI) kedua kalinya koefisien penutupan pori (*blocking*) membrane meningkat dari 0, 242 pada filtrasi pertama menjadi 0,243. Perbedaan nilai koefisiennya sangat kecil dan jika dilihat dari kurva penurunan fluks juga menunjukkan pola penurunan fluks yang hampir sama pada filtrasi pertama dan filtrasi kedua. Sedangkan pada membran B (Gambar 7) perbedaan koefisien penutupan pori pada filtrasi pertama dan kedua cukup signifikan yaitu 0,230 pada saat filtrasi pertama naik menjadi 0,251 pada filtrasi kedua, artinya kinerja membran pada saat filtrasi kedua menurun dibandingkan dengan filtrasi pertama.



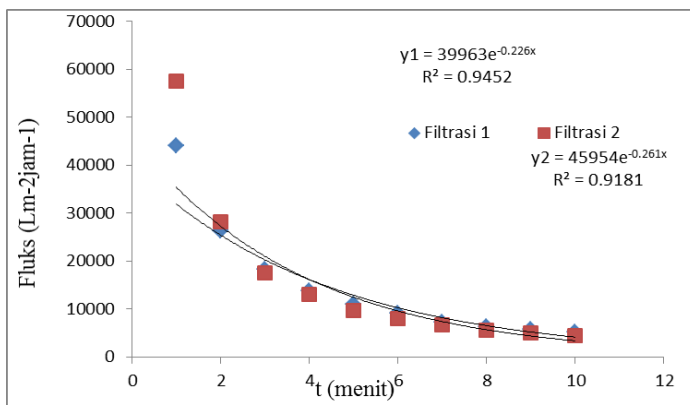
Gambar 6 Perbandingan koefisien *blocking* pada filtrasi ke-1 dan ke-2 pada membran A



Gambar 7 Perbandingan koefisien *blocking* pada filtrasi ke-1 dan ke-2 pada membran B



Gambar 8 Perbandingan koefisien *blocking* pada filtrasi ke-1 dan ke-2 pada membran C



Gambar 9 Perbandingan koefisien *blocking* pada filtrasi ke-1 dan ke-2 pada membran D

Membran C (Gambar 8) koefisien penutupan porinya pada filtrasi pertama dan kedua sama dengan membran A yaitu 0,242 pada filtrasi pertama dan 0,243 pada filtrasi kedua, artinya membran A dan C efisiensi kinerjanya hampir sama. Sedangkan pada membran D (Gambar 9) kenaikan nilai koefisien penutupan pori pada filtrasi kedua cukup signifikan yaitu naik menjadi 0,261 dari 0,226.

Berdasarkan hasil analisa koefisien *blocking* pada saat filtrasi limbah buatan (larutan Cr[VI]) , limbah elektroplating dan pada saat membran yang sama digunakan untuk filtrasi kedua menunjukkan bahwa mekanisme penurunan fluks membran pada membran kitosan-biosilika disebabkan oleh terjadinya pori membran dengan koefisien determinansi pada masing-masing membran 90 % keatas yang mendekati 100 %. Nilai ini menunjukkan bahwa model penurunan fluks mendekati nilai sesungguhnya dari hasil eksperimen. Komposisi massa kitosan dan biosilika yang digunakan sangat berpengaruh pada kinerja membrane karena mempunyai karakteristik yang berbeda pada masing-masing membrannya. Membran A, B, C, dan D mempunyai karakteristik fluks yang cukup baik dalam proses filtrasi logam Cr(VI) dari limbah.

SIMPULAN

Mekanisme penurunan fluks membran dalam proses filtrasi dapat disebabkan oleh penutupan sejumlah pori membran. Fluks membrane akan menurun secara eksponensial seiring dengan bertambahnya waktu operasi membran. Membran B dengan rasio massa kitosan dan massa biosilika 1,5 mempunyai karakteristik fluks yang lebih baik dibandingkan dengan yang lainnya karena fluks rata-rata pada filtrasi limbah elektroplating paling besar dibandingkan yang lainnya yaitu 19115,62 L/m²jam dengan nilai porositas paling tinggi yaitu 87,79 %. Koefisien penutupan pori membran B pada saat filtrasi limbah electroplating juga cukup rendah yaitu 0,294 dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 93 %.

DAFTAR PUSTAKA

1. Mulder M. 1996. Basic and Principles of Membrane Technology. London: Kluwer.
2. Kabsch, Korbutowicz MK. 2008. Ultrafiltration as a Method of Separation of Natural Organic Matter from Water. *Materials Science-Poland*. 26 (2).
3. Liu J, Chen X, Shao Z, Zhou P. 2003. Preparation and Characterization of Chitosan/Cu (II) Affinity Membrane for Urea Adsorption. *Journal of Applied Polymer Science*. 90:1108-1112.

4. Nisa K. 2005. *Karakterisasi Fluks Membran Kitosan Termodifikasi Poli(Vinil Alkohol) dengan Variasi Poli(Etilena Glikol) sebagai Porogen*. Skripsi. Bogor: Institut Pertanian Bogor
5. Notodarmojo, Suprihanto, Mayashanty D, Zulkarnain T. 2004. Pengolahan Limbah Cair Emulsi Minyak dengan Proses Membran Ultrafiltrasi Dua Tahap Aliran Cross-flow. *PROC.ITB Sains dan Teknologi Bandung*.
6. Mathew, F. 2008. *Removal of heavy metal from electroplating wastewater using rice husk silica and coconut coir*. Thesis: master of science in chemical engineering, Missouri University of Science and technology. pg:4-8
7. Ardiansyah dan Kusomo, A.B. 2013. Karakteristik penurunan fluks pada filtrasi larutan humic acid dengan membran mikrofiltrasi. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. **2**(2): 267-274.
8. Purkait, M.K, Bhattacharya, P.K, De, S.2005. Membrane filtration of leather plant effluent: Flux decline mechanism. *Journal of Membrane Science*. 258: 85-96